

Manual de Monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales



Abril del 2006

ADCS - X1

INDICE

Introducción.....	1
1) Aspectos generales.....	2
A) Almacenes de carbono.....	2
B) Inventario y monitoreo de carbono.....	2
C) Elección de áreas para la toma de datos.....	3
D) Tamaño de muestra.....	3
E) Tipo de parcelas a muestrear.....	3
a) Parcelas temporales.....	3
b) Parcelas permanentes.....	4
F) Forma y tamaño de la parcela.....	5
a) Rectangulares.....	5
b) Cuadradas.....	6
c) Circulares.....	6
2) Establecimiento del sitio.....	7
3) Muestreo de los “almacenes de carbono”.....	12
A) Muestreo de hojarasca.....	12
B) Muestreo de suelo.....	14
a) Contenido de carbono.....	14
b) Densidad aparente.....	15
i) Método de la probeta.....	15
ii) Método del cilindro de volumen conocido.....	15
c) Toma de muestra.....	15
i) Tubo muestreador.....	15
ii) Toma de muestra con cilindro de volumen conocido.....	16
C) Muestreo de hierbas.....	16
D) Tallos leñosos.....	17
a) Medición de diámetro.....	17
b) Medición de altura.....	18
E) Materia vegetal muerta.....	18

4) Generalidades sobre procesamiento de muestras y cálculos.	19
A) Hierbas y hojarasca.	19
B) Suelo.	21
a) Análisis del contenido de carbono.	21
b) Densidad aparente.	21
i) Método de la probeta.	21
ii) Método del cilindro de volumen conocido.	22
c) Cálculo de carbono en suelo (tnC/ha).	22
C) Tallos leñosos.	22
D) Materia muerta caída y árboles muertos en pie.	24
E) Raíces.	25
BIBLIOGRAFIA.	26
ANEXOS.	27

INDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Localización de áreas con sistemas agroforestales. Planes vivos de las comunidades de Yaluma, Municipio de Comitán y Arroyo Palenque, Municipio de Salto de Agua, Chiapas.	4
Fig. 2. El transecto. Diagrama de perfil de un bosque primario donde aparecen árboles con diámetro normal mayor e igual a 10 cm.	5
Fig. 3. Parcela circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.	6
Fig. 4. Esquema de parcela circular de 1000 m ²	7
Fig. 5. Efecto de la pendiente en la distancia horizontal.	9
Fig. 6. Procedimiento para delimitar el sitio de muestreo.	11
Fig. 7. Sitio de muestreo con 8 subdivisiones.	12
Fig. 8. Puntos de muestreo de hojarasca y suelos.	12

ANEXOS.

Anexo 1. Uso del clinómetro.	28
Anexo 2. Tabla de corrección de distancias por pendiente (%).	29
Anexo 3. Uso de la brújula.	30
Anexo 4. Muestreo por incrementos de profundidad.	31
Anexo 5. La muestra compuesta.	32
Anexo 6. Localización del diámetro de referencia en árboles con diferentes formas de fuste.	33
Anexo 7. Localización de alturas del árbol.	34
Anexo 8. Formulario para colecta de datos.	35

Introducción.

La cuantificación de carbono en proyectos donde se consideran sistemas de uso de la tierra ha sido abordada en algunos casos tomando valores de la literatura y haciendo suposiciones que permiten calcular potenciales de fijación de carbono de los que se desprenden valores que deben ser verificados en campo; mientras que en otros se ha optado por realizar mediciones físicas para obtener dichos valores.

Las metodologías utilizadas al verificar en campo valores estimados o cuando se elige medir en vez de estimar, están basadas en la aplicación de métodos forestales estándar y los principios de inventarios forestales, ciencia del suelo y levantamientos ecológicos para medir y analizar biomasa (Márquez, 2000).

Este manual pretende ser una guía sencilla y práctica para levantar sitios de muestreo para cuantificación de carbono en sistemas agroforestales a través de mediciones físicas, describiendo a manera de ejemplo el levantamiento de un sitio paso a paso.

Por otra parte, considerando que el levantamiento del sitio en la cuantificación de carbono no es una acción aislada, sino que forma parte de un proceso con diferentes etapas (planeación, levantamiento del sitio, fase de laboratorio y análisis de datos) relacionadas entre sí, el manual está dividido en cuatro secciones que hablan de manera general del proceso completo, pero haciendo énfasis en aspectos que influyen en el levantamiento del sitio.



Comunidad Muquenal, Mpio. de Chilon

1) Aspectos generales.

A) Almacenes de carbono.

Consideraremos cuatro lugares donde se puede almacenar carbono:

- Sobre el suelo. Aquí se incluyen las hierbas y tallos leñosos.
- Abajo del suelo. Aquí consideramos raíces.
- Hojarasca y materia vegetal muerta.
- Suelo

B) Inventario y monitoreo de carbono.

En un **inventario** de carbono calculamos cuanto carbono esta fijado en cada uno de estos "almacenes". Podríamos comparar el inventario con una fotografía que nos permite "ver" el tamaño de estos almacenes al momento de tomarla.

En un proyecto que tenga entre sus objetivos, por ejemplo, la venta del servicio ambiental por captura de carbono, hacer un inventario inicial nos permite conocer el punto de partida de nuestro proyecto. Los cambios que se dan en éstos "almacenes" en el tiempo necesitarán medirse periódicamente, llamamos **monitoreo** al hecho de repetir nuestras mediciones y cálculos a través del tiempo.

Al llevar a cabo un inventario al iniciar un proyecto o en posteriores monitoreos recuerda que:

- ✓ Existen diferentes opciones para llevar a cabo tus mediciones. Cuando planees tu inventario ten en cuenta que los procedimientos que decidas utilizar deberán ser los mismos cada vez que repitas tus mediciones para que tus datos puedan compararse.
- ✓ Cada vez que en tu proyecto hagas mediciones de tus "almacenes" de carbono planea llevarlas a cabo en la misma época del año en la que hayas hecho otras. Es práctico elegir la época del año cuando el clima permita trabajar en el campo sin dificultad.
- ✓ Para escoger cada cuanto tiempo hacer monitoreo considera la disponibilidad de tiempo y dinero en tu proyecto. Puede ser al principio y al final del proyecto, cada dos o tres años, o bien cada año. Mientras más frecuente sea el monitoreo tus estimaciones estarán más cerca de la realidad.

C) Elección de áreas para la toma de datos.

Seguramente en nuestra área de trabajo o área de proyecto encontraremos características que hagan diferentes ciertas áreas de otras, como puede ser el clima, manejo, sistema agroforestal empleado, etc.

Como un primer paso debemos hacer pequeños grupos que compartan algunas características. Al procedimiento de agrupar nuestras áreas en conjuntos con características similares le llamamos "estratificar".

D) Tamaño de muestra.

Al realizar nuestro inventario podemos elegir tomar muestras de un 2-3% de cada conjunto que hayamos distinguido. Este porcentaje puede ser mayor en función de nuestros recursos económicos y disponibilidad de tiempo.

El análisis estadístico de los datos de fijación de carbono para cada "almacén" debe considerarse por separado, lo que tiene influencia directa en nuestro tamaño de muestra.

Una vez consideradas las características en las que vamos a clasificar nuestras áreas y el número de áreas a muestrear escogemos las parcelas a medir al azar.

E) Tipo de parcelas a muestrear.

a) Parcelas temporales.

Se utilizan para muestreos rápidos. En silvicultura ⁽¹⁾ se usan en inventarios de especies, en la evaluación de masas forestales y de la regeneración natural. Para evaluar fijación de carbono pueden utilizarse en un inventario simple aplicado a sistemas donde estén combinados árboles con cultivos anuales, con la finalidad de evaluar biomasa al final del ciclo anual.



Sistema Taungya. Arroyo Palenque, Mpio. De Salto de Agua, Chiapas.

1

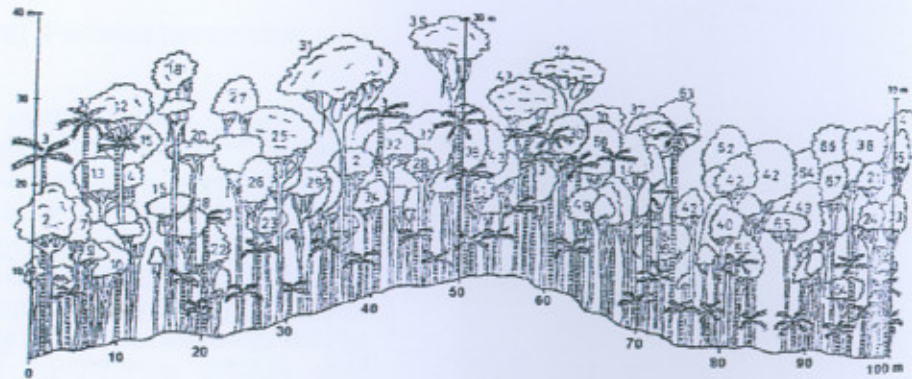
¹ Cultivo de los bosques o montes

- ✓ Pueden tomarse las coordenadas de la parcela y sus referencias de ubicación con un geo-posicionador satelital (GPS). Si se trata de una parcela rectangular o cuadrada se marcan los vértices y si es circular los cuatro puntos cardinales.
- ✓ Se marca el sitio usando estacas permanentes. Pueden marcarse los vértices o puntos cardinales con tubos de PVC naranja de 3" de diámetro y 50 cm de largo, anclando la mitad o bien enterrando barras de metal de 40 cm. Las estacas de uno u otro material deben marcarse con GPS.

F) Forma y tamaño de la parcela

a) Rectangulares.

En silvicultura se usan para conocer la diversidad de especies y como esta compuesto verticalmente un bosque. La más utilizada es el llamado transecto que es una parcela rectangular donde podemos tomar los datos caminando en línea recta. Podemos encontrar transectos de 5, 10, 15 y hasta 20 m de ancho y 20, 50 y hasta 100 m de largo. Para evaluar carbono pueden utilizarse para medir la biomasa acumulada en leñosas en bosques naturales en conservación y en plantaciones forestales, pudiendo en este caso complementarse con muestreo de herbáceas, suelo y hojarasca (Fig. 2).



Fuente: Melo, O.A., Vargas, R. 2001. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA. Ibagué Colombia. Pp. 60.

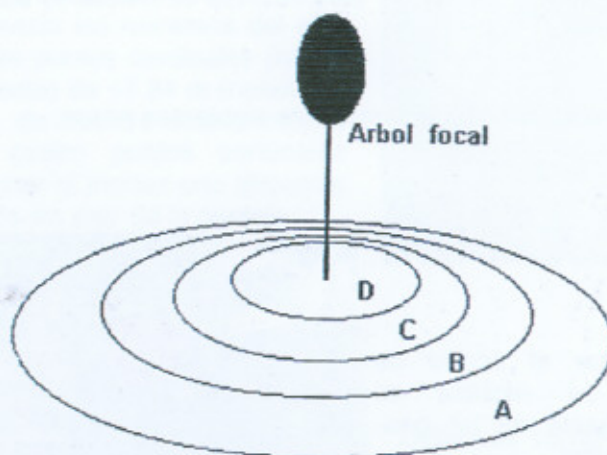
Fig. 2. El transecto. Diagrama de perfil de un bosque primario donde aparecen árboles con diámetro normal mayor e igual a 10 cm.

b) Cuadradas.

En silvicultura se usan para describir especies, crecimiento de árboles y estudiar biodiversidad. Las hay desde 100 m^2 ($10 \times 10 \text{ m}$), 400 m^2 ($20 \times 20 \text{ m}$), 625 m^2 ($25 \times 25 \text{ m}$) hasta de 1 ha y 25 ha . Para evaluar fijación de carbono en sistemas agroforestales donde los árboles tienen un arreglo en surcos o líneas esta forma de parcela puede introducir error en el muestreo.

c) Circulares.

Son utilizadas en inventarios forestales a nivel de plantaciones homogéneas. Se recomienda usar parcelas circulares en terrenos con pendientes bajas, tienen la ventaja de que son fáciles de establecer. Pueden ser de diferentes tamaños: 100 m^2 ($r=5.64$) que puede usarse en el caso de que la vegetación sea densa y exista un gran número de tallos de diámetros pequeños, 250 m^2 ($r=8.92$) para vegetación leñosa moderadamente densa; 500 m^2 ($r=12.62$), para vegetación leñosa moderadamente esparcida y 1000 m^2 ($r=17.84$) para diámetros leñosos muy esparcidos (Fig. 3).



Fuente: Melo, O.A., Vargas, R. 2001. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA. Ibagué Colombia. Pp. 30.

Fig. 3. Parcela circular. Diagrama de parcelas circulares concéntricas centradas por un árbol focal.

2) Establecimiento del sitio

En esta sección describiremos como ejemplo el establecimiento de un sitio de muestreo circular de 1000 m² con ocho subdivisiones para facilitar las mediciones, cuatro subparcelas⁽²⁾ circulares para muestreo de hojarasca y suelo, cuatro subparcelas de 1 m² para muestreo de hierbas y cuatro puntos de muestreo de suelo (Fig. 4).

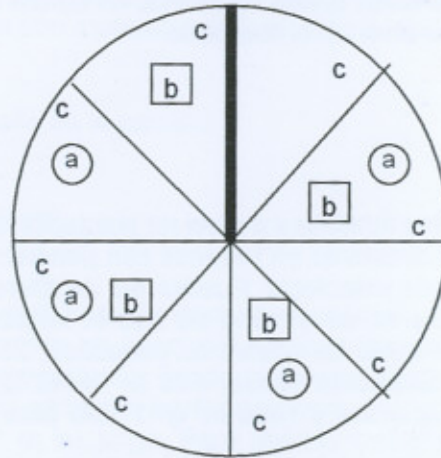


Fig. 4. Esquema de parcela circular de 1000 m². a) subparcelas circulares para muestreo de hojarasca y suelo; b) subparcelas de 1 m² para muestreo de hierbas; c) subdivisiones para facilitar las mediciones.

Para el establecimiento del sitio seguimos los siguientes pasos:

Ubicamos al azar el centro de nuestro sitio. Se registra su ubicación con ayuda de un geoposicionador satelital.



2

² Áreas definidas en forma y tamaño dentro de un área o parcela de mayor tamaño que sirven para coleccionar un componente en particular.



Identificamos un árbol como referencia (árbol focal) y colocamos a un lado de éste nuestra estaca central.

Nuestra unidad de muestreo no debe quedar fuera de la parcela agroforestal. Para una unidad de muestreo circular de 1000 m^2 , requerimos una distancia del centro hacia los extremos del sitio en los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este, oeste) de 17.84 m (radio); de esta forma, de nuestra estaca central hacia los cuatro puntos cardinales debemos tener al menos una distancia de 20 metros sin salir de la parcela.



Foto Carlos Mario Aguirre



Debemos contar con estacas marcadas de tal forma que sobresalgan de la vegetación de nuestra parcela, además de un juego de 8 lazos. Podemos usar uno de los lazos de distinto color para facilitar nuestras mediciones.

Atamos las cuerdas a la estaca central. Una persona se encargará de dirigir desde el centro el tendido de los lazos que delimitarán nuestra parcela circular. Debe tener a la mano brújula, clinómetro y una tabla con distancias compensadas en función de la pendiente.



Extenderemos las cuerdas para delimitar nuestro sitio. En el ejemplo, para 1000 m^2 , necesitamos extenderlas a una distancia horizontal de 17.84 m (radio). La distancia horizontal se ve afectada por la pendiente (Fig. 5), por esta razón, es necesario cada vez que se extiende un lazo hacer el ajuste correspondiente auxiliándonos de un clinómetro (Anexo 1) y una tabla con los factores de ajuste correspondientes (Anexo 2).

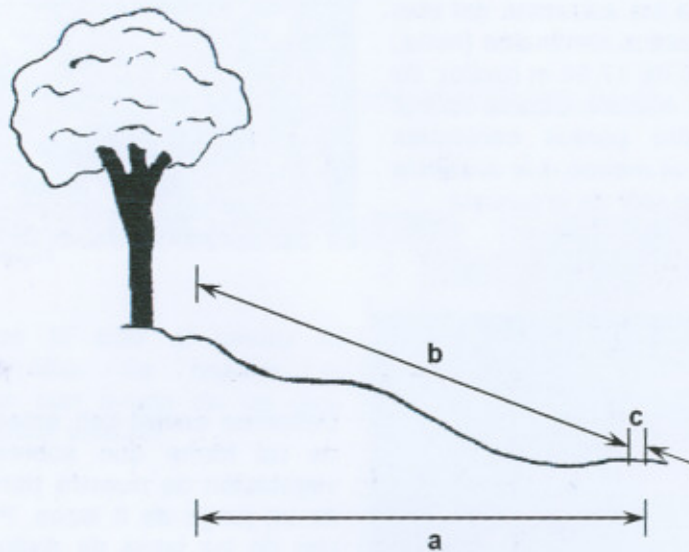


Fig. 5. Efecto de la pendiente en la distancia horizontal. a) Distancia horizontal "x"; b) Distancia "x" medida sobre un terreno con pendiente; c) Diferencia entre la distancia horizontal y la distancia medida sobre el terreno.



El primer lazo se extiende en dirección a donde observemos pendiente cero (donde el terreno este más "plano"), verificamos con el clinómetro. Con ayuda de una cinta métrica se mide la distancia, se coloca una estaca y se sujeta el lazo. Utilizaremos para esta primera línea el lazo de color diferente.

Colocado el lazo tomamos el rumbo o dirección en el que quedo tendido con nuestra brújula (Anexo 3). Tomar el rumbo nos ayudará a sacar ángulos para poder extender los demás lazos y hacer subdivisiones de tamaños iguales.



Se extiende el segundo lazo a 180° con respecto al primero (Fig. 6a). Para esto a la lectura obtenida en la brújula al extender el lazo 1 se le suma 180° . La persona al centro del sitio busca el valor obtenido con la brújula y dirige a la persona que lleva el lazo y la cinta métrica.

El lazo 3 se extiende a 90° de los lazos 1 y 2 (Fig. 6b). Para obtener la dirección en la brújula se suma 90 a la lectura del lazo 1 o del lazo 2. Se orienta a la persona que lleva el lazo y la cinta desde el centro del sitio en la dirección obtenida.

El lazo 4 se extiende a 180° del lazo 3 con el mismo procedimiento (Fig. 6c).

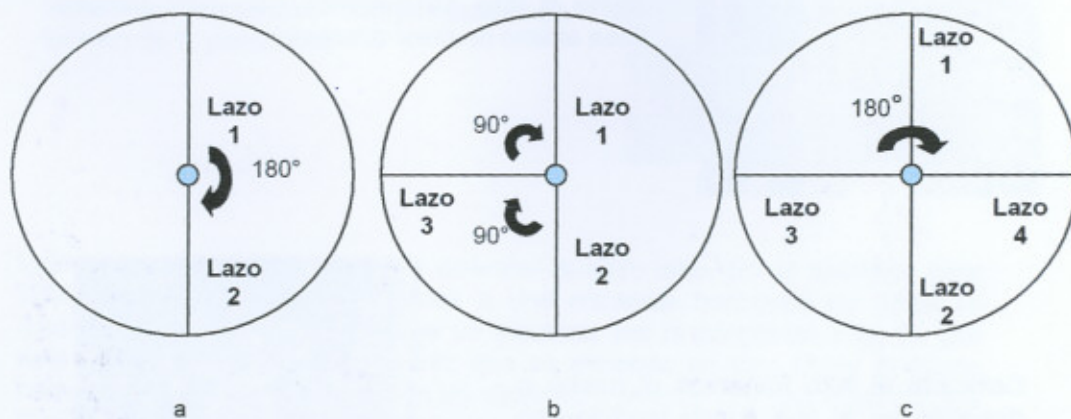


Fig. 6. Procedimiento para delimitar el sitio de muestreo. Tendido de lazos.

Hasta este momento tenemos delimitado nuestro sitio en cuatro puntos. Cada vez que un lazo se extiende en caso de existir pendiente se hace el ajuste de la distancia medida sobre el terreno.





Para dividir nuestro sitio en 8 subdivisiones extendemos otros cuatro lazos a 45° de los lazos 1, 2, 3 y 4. (Fig. 7).

Fig. 7. Sitio de muestreo con 8 subdivisiones.



Tendido de lazos

Foto Carlos Mario Aguirre



Estaca central con ocho subdivisiones

3) Muestreo de los “almacenes de carbono”.

En esta sección describiremos como se toman las muestras o datos (según sea el caso) de los “almacenes” de carbono en nuestro sitio de muestreo.

A) Muestreo de hojarasca.

Se recomienda iniciar con la toma de estas muestras, para evitar que la parcela se pisotee demasiado y así obtener material en buenas condiciones. Dentro de nuestra parcela de 1000 m² podemos tomar varios puntos de muestreo. En nuestro sitio de ejemplo de 1000 m² ejemplificamos 4 (Fig. 8).

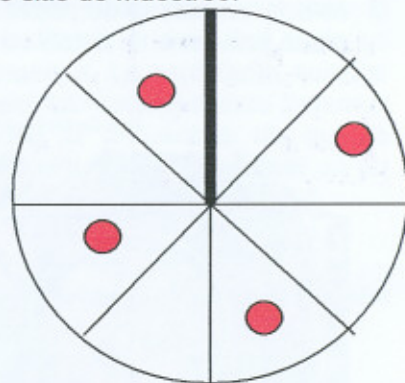


Fig. 8. Puntos de muestreo de hojarasca y suelos.

- Los puntos se ubicaran al azar en nuestro sitio. Para delimitar el área utilizaremos un aro o una tapa de pintura.



- Limpiamos alrededor de nuestra superficie de muestreo cuidando no extraer material del interior del aro o debajo de la tapa.



- La hojarasca que haya quedado al interior del aro o debajo de la tapa se colecta en bolsas de papel o polipapel numeradas e identificadas según un orden previamente establecido.

Foto Carlos Mario Aguirre



- Si bien colectamos en cuatro puntos, el material colectado no se maneja por separado, sino que se mezcla para obtener una muestra compuesta de hojarasca por sitio.
- Si contamos con suficientes recursos para análisis de laboratorio podemos dividir nuestra muestra en hojarasca y humus. La hojarasca es material vegetal sobre el suelo, hojas y pequeñas ramas secas, en las que podemos distinguir su forma o parte de ella. El humus es un material con un grado más avanzado de descomposición donde ya no se distingue la forma del material que le dio origen. Si hacemos esta división se repite en cada punto de muestreo hasta obtener al final una muestra compuesta de hojarasca y una muestra compuesta de humus en nuestro sitio.

B) Muestreo de suelo.

Puede considerarse para el inventario de carbono, la cantidad de este elemento contenido en el suelo en sus primeros 30 cm. Tomando en cuenta ésta profundidad podemos centrarnos en determinar en laboratorio la fracción orgánica del carbono.

Para cuantificar el carbono en suelo necesitamos determinar en laboratorio su **densidad aparente⁽³⁾** y **contenido de carbono**.

En campo la toma de muestras podemos hacerla como sigue:

a) Contenido de carbono. Para la toma de muestra podemos elegir entre:

- i) Tomar la muestra en el centro del sitio.
Se hace un hoyo a 30 cm de profundidad; el suelo extraído lo homogeneizamos y lo pasamos por una malla de 5 mm. Del suelo ya pasado por la malla obtenemos nuestra muestra. La cantidad a coleccionar estará en función de los requerimientos del laboratorio donde haremos nuestros análisis. Este procedimiento tiene la desventaja de que la muestra puede no ser suficientemente representativa al muestrear en un solo punto.
- ii) Tomar la muestra en varios puntos dentro del sitio.
Tomar la muestra en diferentes puntos nos da la oportunidad de tener una muestra más representativa.

3

³ La densidad aparente de un suelo es el peso secado al horno de un volumen conocido.

La elección de los puntos se hace al azar. Pueden ser los mismos en los que se muestrea hojarasca o hierbas.

En el esquema de ejemplo usamos para muestrear suelo los mismos puntos donde se tomaron las muestras de hojarasca (Fig. 8), en nuestro mismo ejemplo, separaremos por incrementos de profundidad (0-10 cm, 10-20 cm y de 20-30 cm) (Anexo 4). Las muestras obtenidas en cada uno de los cuatro puntos se mezclan para obtener una muestra compuesta por cada incremento de profundidad (Anexo 5).

b) Densidad aparente. Es conveniente determinar la densidad aparente por incrementos de profundidad. Las muestras se tomarán en campo en función del método que emplearemos para su determinación.

i) Método de la probeta. Puede ser suficiente contar con 100-200 g de suelo para su posterior procesamiento en laboratorio. Esta misma muestra puede usarse para la determinación del contenido de carbono en suelo. Es un método sencillo que tiene la desventaja de no ser muy confiable.

ii) Método del cilindro de volumen conocido. Debemos contar con un cilindro de volumen conocido que se utiliza para extraer el suelo. Cuando usamos éste método es preferible sacar muestras adicionales para la determinación del contenido de carbono en suelo.

c) Toma de muestra.

i) Tubo muestreador.

Antes de comenzar a tomar las muestras de suelo debemos quitar hierbas y hojarasca de la superficie. Si en el terreno se realizó alguna quema debemos retirar muy bien cualquier material vegetal carbonizado ya que puede alterar nuestros resultados.

Si hemos separado nuestra muestra a diferentes profundidades (Anexo 4), y un obstáculo nos impide la obtención de la que se encuentra a mayor profundidad, debemos desechar las ya obtenidas en ese punto e intentarlo nuevamente a unos pasos.



Tubo muestreador

ii) Toma de muestra con cilindro de volumen conocido.

Fotos Carlos Mario Aguirre



Cilindro de volumen conocido



Extracción de suelo del cilindro

Se introduce el cilindro en el suelo para rellenar su interior. Se extrae, se eliminan los excesos de suelo de los extremos. Puede guardarse el cilindro con el suelo en una bolsa o recipiente identificado y numerado o bien colocarse la muestra de suelo en un recipiente diferente al cilindro, para seguir utilizando este en nuestro muestreo (esta operación puede introducir cierto error). La toma de muestra con incrementos de profundidad se describe en el Anexo 4.

C) Muestreo de hierbas.

Para este componente emplearemos 4 subparcelas de 1 m^2 (Figura 4)

Los puntos de muestreo se eligen al azar.

Se marca la subparcela de tal manera que sea visible en el campo, para ello podemos utilizar cuadros de aluminio, ramas pintadas o alguna otra forma que tengamos a mano con tal de delimitar el área cuidando que la forma y el tamaño de la parcela sea la misma en las diferentes mediciones.

Con ayuda de machete o tijera de podar se colecta la vegetación herbácea y los tallos con menos de 2 cm de diámetro, sin considerar raíces, que estén dentro de estas parcelas. Cuidaremos que se corte la vegetación al ras del suelo o a una misma altura en cada una de las parcelas muestreadas.

Colectaremos hojas o ramas que queden fuera del cuadro si su origen está dentro de la parcela de 1 m^2 , por el contrario no colectaremos hojas y ramas que "cubran" o pasen por encima de nuestra parcela si su origen está fuera de ella.

Se reúne el material colectado en las cuatro parcelas de 1 m^2 , se pesa este material y se registra el dato.

Se mezcla perfectamente el material (homogeneizar la muestra) y se toma una submuestra, por ejemplo, la que quepa en la palma de la mano. Esta submuestra se pesa y se registra el dato.

La submuestra se lleva al laboratorio en bolsas de papel o polipapel numeradas e identificadas para su procesamiento.

D) Tallos leñosos.

Forma parte del "almacén" de carbono arriba del suelo junto con las hierbas y arbustos, sin embargo, es más importante que éstos por su contribución en términos de fijación de carbono.

Para muestrear este "almacén" de carbono mediremos diámetros y alturas de los tallos leñosos presentes en nuestro sitio de 1000 m².

c) Medición de diámetro.

Mediremos los tallos leñosos con un diámetro igual o mayor a 5 cm o bien igual o mayor a 10 cm. Elegir un valor u otro estará en función del tiempo de implementado nuestro sistema y de la elección del equipo que planea el inventario.

Como en la medición de otros almacenes de carbono, la medición a partir de una u otra clase de tamaño deberá repetirse en posteriores mediciones.

El diámetro de un árbol es su "grueso" o "cintura", se mide a 1.30 m de altura sobre el suelo, a esta medida se le conoce como diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro normal (d).

Para esta medición se usan diferentes instrumentos como pueden ser cintas métricas, cintas diamétricas, forcípulas, entre otros.

El uso de cinta métrica requiere hacer operaciones matemáticas para convertir los datos y las forcípulas son menos confiables que las cintas diamétricas.

Las cintas diamétricas pueden ser de acero, fibra de vidrio o tela reforzada.

Al usar la cinta diamétrica debemos tener en cuenta al hacer nuestras mediciones que:

- ✓ No debemos variar en una misma medición o entre mediciones el instrumento (por ejemplo usar en algunos casos cinta diamétrica y en otros cinta métrica).
- ✓ No usar cintas gastadas o en mal estado.
- ✓ No mezclar escalas de medición (diámetro/circunferencia) ni unidades (milímetros/centímetros/pulgadas).
- ✓ Colocar la cinta correctamente



En el campo encontraremos que aspectos del árbol como troncos torcidos, bifurcados, con contrafuertes, inclinados o sobre pendientes del terreno pueden provocar que tomemos incorrectamente nuestros datos. En el Anexo 6 ejemplificamos la manera correcta de tomar el DAP en diferentes casos.

d) Medición de altura.



Al hacer esta medición registramos altura total (Anexo 7). La medición de la altura es difícil de hacer en campo con precisión, se puede realizar con instrumentos como clinómetros o hipsómetros⁽⁴⁾. Si no contamos con este tipo de instrumentos y en el caso de sistemas agroforestales con pocos años de establecidos podemos recurrir a una vara de 3 o 4 m (marcada cada metro). Al ser poco preciso este método podemos considerar clases de 5 m o estimados al metro para nuestro análisis de datos.

E) Materia vegetal muerta.

En este "almacén" de carbono consideramos los árboles muertos en pie y troncos caídos. Para árboles muertos en pie medimos diámetro y altura. Para troncos caídos, árboles completos o secciones de árboles mayores medimos los diámetros de los extremos y la longitud.



4

⁴ **Clinómetro:** Aparato de medida de la pendiente de un terreno o de ángulo de inclinación de un estrato geológico. Diccionario de Terminología Cartográfica. **Hipsómetro.** Instrumento óptico que se usa para estimar o medir la altura de los árboles. Administración Forestal del Estado. Cooperación Hondureña de desarrollo Forestal. <http://cohdefor.hn/glosario>.

4) Generalidades sobre procesamiento de muestras y cálculos.

F) Hierbas y hojarasca.

Para estos dos "almacenes" realizamos procedimientos similares para el cálculo de fijación de carbono.

En ambos casos se muestrean varios puntos dentro de la parcela de 1000 m² (Figura 4).

Reunimos la hierba colectada en los diferentes puntos del sitio, pesamos y registramos ese peso (**peso fresco total**). Se repite este procedimiento en el caso de la hojarasca.

Homogeneizamos las muestras y tomamos una submuestra representativa (por ejemplo lo que quepa en una mano), pesamos y registramos este peso (**peso fresco de la submuestra**).

Guardamos en bolsas de papel o polipapel numeradas e identificadas.

Las submuestras de hierbas y hojarasca se llevan al laboratorio y se secan en estufa a 80° C por 24 horas.

Secas las submuestras se sacan de la estufa y se vuelven a pesar, registramos ese peso (**peso seco de la submuestra**).

(En el Anexo 8 se incluye un formulario para el registro de datos).

Hasta este momento contamos con los siguientes datos:

- Peso fresco total de hierbas y hojarasca en gramos (Pft).
- Peso fresco de la submuestra de hierbas y hojarasca en gramos (Pfs).
- Peso seco de la submuestra de hierbas y hojarasca en gramos (Pss).
- Área de la superficie muestreada en m². En el esquema de ejemplo, para hierbas utilizamos 4 parcelas de 1 m², por lo tanto tenemos un área de superficie muestreada de 4m². Si usamos para muestrear un aro o tapa de pintura, como lo describimos para la hojarasca, aplicamos la fórmula para conocer el área de un círculo:

$$\text{Área de un círculo} = 3.1416 \times r^2$$

Donde:

3.1416= valor constante

r= radio. Distancia del centro al extremo del nuestro aro o tapa, si medimos esta distancia en centímetros debemos dividir esta medida entre 100 para transformar a metros.

Para tener el dato de área total muestreada multiplicamos el área calculada de nuestro aro o tapa por el número de aros o tapas que se muestrearon en nuestro sitio.

Con los datos que hasta ahora tenemos podemos calcular el contenido de humedad de las submuestras de hierbas y hojarasca con la siguiente fórmula:

$$CH = (Pfs - Pss) / (Pfs)$$

Donde:

CH= Contenido de humedad

Pfs= Peso fresco de la submuestra

Pss= Peso seco de la submuestra

Conociendo el contenido de humedad, calculamos la biomasa en gramos.

$$Y = (Pft) - (Pft \times CH)$$

Donde:

Y= Biomasa en gramos.

Pft= Peso fresco total

CH= Contenido de humedad

Dividimos la biomasa en gramos (valor de "Y") entre 1,000,000 para obtener toneladas, este resultado lo multiplicamos por 0.5 para obtener toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono fijado se dividen entre el total de metros muestreados, esta operación da toneladas de carbono por metro cuadrado (tC/m^2) y al multiplicarlo por 10,000, se obtienen toneladas de carbono por hectárea.

La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener carbono es porque se considera, en base a la literatura, que la mitad del peso seco (peso del material sin considerar agua o humedad) es carbono. Utilizar el valor de 0.5 puede resultar en datos poco precisos, en los que se puede sobreestimar el cálculo de fijación de carbono.

Como alternativa podemos determinar el contenido de carbono de estos materiales en laboratorio. Si contamos con recursos para estos análisis debemos realizarlos para tener valores más confiables. Podemos incluso diferenciar el contenido de carbono que aporta la hojarasca en sus diferentes niveles de descomposición (hojarasca y humus) y hacer el procedimiento ya descrito para cada nivel.

Para hojarasca y humus algunos métodos de laboratorio para determinar el contenido de carbono requieren que la muestra se seque al aire en un lugar fresco y seco. Si vamos a analizar nuestras muestras por un método con requerimientos de éste tipo, es preferible que la muestra a procesar sea una adicional a la usada para determinar el peso seco.

G) Suelo.

a) Análisis del contenido de carbono.

Una vez tomada nuestra muestra en campo, se guarda en bolsas de papel o polipapel numeradas e identificadas.

La muestra para determinar contenido de carbono en suelo preferentemente debe secarse al aire en un lugar fresco y seco. Por esta razón es recomendable que esta muestra sea una diferente a la tomada para densidad que requiere secado en estufa.

Aunque tiene ciertas limitaciones en laboratorio puede utilizarse el método de Walkey-Black para determinar el contenido de carbono (%) u otro utilizado en el laboratorio disponible.

b) Densidad aparente.

La densidad aparente se calcula con la siguiente fórmula:

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = m/v$$

Dónde:

D= densidad (g/cm³)

m=peso seco del suelo (g)

v=volumen (cm³)

El secado de las muestras se hace en estufa a 100° C por aproximadamente 72 horas.

- i) Método de la probeta. La muestra seca de suelo se muele y se pasa por un tamiz del número 10. Con el suelo que paso el tamiz se llena una probeta de 10 ml, de la cual conocemos su peso. Al estar llenando la probeta golpeamos de vez en cuando la base con la palma de nuestra mano con la finalidad de evitar que queden espacios con aire. Una vez llena se pesa. Obtenemos el peso seco por diferencia de la siguiente forma:

$$\text{Peso seco del suelo (g)} = \text{Peso de la probeta con suelo} - \text{Peso de la probeta vacía.}$$

Para obtener gramos/ cm³, tengamos en cuenta que 1ml=1cm³, por lo tanto, dividiremos el resultado anterior entre 10 (ya que la probeta utilizada fue de 10 ml).

Es preferible utilizar en las pesadas una balanza analítica.

ii) Método del cilindro de volumen conocido.

Las muestras se secan al horno como ya se indicó. Una vez secas se pesan, si es posible en una balanza analítica, se divide este peso entre el volumen del cilindro para obtener la densidad. Para la determinación de la densidad aparente debe descontarse el volumen y el peso de raíces y piedras contenidas en la muestra.

El volumen del cilindro puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (cm}^3\text{)} = 3.1416 \times r^2 \times h$$

Donde:

3.1415= Valor constante.

r= radio

h= altura del cilindro.

c) Cálculo de carbono en suelo (tnC/ha)

Conociendo el porcentaje de carbono del suelo y su densidad aparente se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono en suelo (tnC/ha)} = CC \times DA \times P$$

Donde:

CC= Profundidad de muestreo (cm)

DA= Densidad aparente (g/cm³)

P= Profundidad de muestreo (cm)

Es importante el cálculo de carbono en suelo como parte del inventario que se realiza al inicio de un proyecto, sin embargo, no es necesario medir este "almacén" con tanta frecuencia, ya que es de esperarse que no presente cambios importantes en períodos cortos de tiempo.

H) Tallos leñosos

Para obtener el carbono fijado en este "almacén" necesitamos calcular la biomasa de los tallos leñosos con diámetro normal mayor o igual a 5 o 10 cm.

Una alternativa para calcular biomasa es mediante ecuaciones. Las ecuaciones pueden necesitar que conozcamos uno o más datos, por ejemplo, DAP, altura y densidad de la madera. A estos datos se les llama variables, mientras más variables use una fórmula, más confiables serán nuestros datos.

En el cuadro 1 se indican ecuaciones para bosques latifoliados.

En el cuadro 2 se indican ecuaciones para otras especies.

Cuadro 1
Ecuaciones de biomasa generadas para árboles tropicales en diferentes zonas climáticas.

ZONA CLIMÁTICA	ECUACIÓN	R ²	RANGO DE DAP	NO. DE ÁRBOLES	# ECUACIÓN
Seco	$Y = \exp\{-1.996 + 2.32 \cdot \ln(D)\}$	0.89	5-40	28	1.1
	$Y = 10^{\{-0.535 + \log_{10}(BA)\}}$	0.94	3-30	191	1.2
Húmedo	$Y = 42.69 - 12.800(D) + 1.242(D^2)$	0.84	5-148	170	2.1
	$Y = \exp\{-2.134 + 2.530 \cdot \ln(D)\}$	0.97			2.2
	$Y = \exp\{-2.4090 + 0.9522 \cdot \ln(D^2HS)\}$	0.99			2.3
Muy Húmedo	$Y = 21.297 - 6.953(D) + 0.740(D^2)$	0.90	4-112	169	3.1

Seco. Lugares con menos de 1500 mm de lluvia anual y una estación seca larga.

Húmedo. Lugares con lluvia anual entre 1500 y 4000 mm y una estación seca corte o sin estación seca.

Muy húmedo. Lugares con más de 4000 mm de lluvia anual y sin estación seca (Brown, 1996).

- La ecuación 1.1 esta revisada de Brown et al. 1989 para bosques secos en India y ec. 1.2 de Martínez-Yrizar et al. 1992 para bosques secos en México (ecuación original basada en área basal).. Para zonas secas con precipitación menor a los 900 mm/año use ecuación 1.2 y para zonas con precipitación mayor a los 900 mm use la ecuación 1.1.
- Ecuaciones 2.1 y 2.2 basadas en la misma base de datos, Ec. 2.3 por si se cuenta con datos de densidad de madera y altura.

Dónde

Y= Biomasa en kilogramos

D= diámetro a la altura del pecho.

BA= Área basal en cm²

H= Altura en metros

S= Densidad de la madera

exp [...] significa "e elevado a la potencia de [...]"

ln significa "logaritmo natural de [...]"

Cuadro 2
Ecuaciones de biomasa para diferentes especies.

ESPECIE	ECUACIÓN	FUENTE	R ²
Coníferas	$Y = \exp\{-1.170 + 2.119 \cdot \ln(D)\}$	Brown, 1996	0.98
Palmas	$Y = 4.5 + 7.7 \cdot H$	Frangi y Lugo 1985	0.90
Café	$Y = a + (b \cdot (\exp(-H/c)))$	Winrock 1998	0.98
Plátano	$Y = \sqrt{a + b \cdot (\ln H / H^2)}$	Márquez 1997	0.99

Dónde:

Coníferas y palmas

Y= Biomasa en kilogramos

D= diámetro a la altura del pecho en centímetros.

S= Densidad de la madera

exp [...] significa "e elevado a la potencia de [...]"

ln significa "logaritmo natural de [...]"

Café

Y= Biomasa en gramos

a=0.67134058 (constante)

b=0.00072208395 (constante)

c=0.40531445 (constante)

H= altura en metros

Plátano

Y= Biomasa en gramos

a=185.1209 (constante)

b=881.9471 (constante)

H= altura en metros

El resultado obtenido al aplicar nuestras ecuaciones se convierte a toneladas (p. ej. si el resultado es en kilogramos dividimos entre 1000, si el resultado es en gramos dividimos entre 1,000,000). Las toneladas se multiplican por 0.5 para obtener toneladas de carbono (tnC).

l) Materia muerta caída y árboles muertos en pie.

Al muestrear troncos caídos medimos dos diámetros y la longitud del tronco. Sumamos los dos diámetros y dividimos entre dos para obtener "área basal", entonces aplicamos la siguiente fórmula:

Y= área basal x altura x densidad de la madera.

Es importante conocer los valores de densidad para las especies presentes en el área del proyecto. Podemos obtenerlas en la literatura o utilizar un valor de 0.5.

Para árboles muertos en pie, medimos diámetro normal y altura, aplicamos las fórmulas que se utilizan para tallos leñosos, pero del resultado obtenido consideramos solo un 70% (el resultado de la ecuación elegida se multiplica por 0.7).

J) Raíces.

Estas forman el "almacén" de carbono abajo del suelo. Los valores de fijación pueden obtenerse por medición directa o estimarse con datos tomados de la literatura. No abordamos este tema en el apartado 2) de este manual, ya que su muestreo y medición requiere de invertir tiempo y recursos con resultados moderadamente precisos debido a la variabilidad de su distribución en el suelo, entre otros factores.

Podemos estimar el valor de fijación de este "almacén" en un porcentaje del 10-15% con relación a la biomasa aérea calculada en nuestro sistema, este es un porcentaje bajo. En la literatura existe información sobre la relación biomasa aérea:raíces de algunos tipos de usos de tierra, en el caso de contar con éstos datos podemos usarlos para establecer nuestro valor de fijación de carbono.

BIBLIOGRAFIA

Camacho, M. (comp.). 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica.

MacDicken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International. Institute for Agricultural Development, Arlington.

Márquez, Lilian. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono. Fundación Solar, Guatemala.

Melo, O.A., Vargas, R. 2001. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA. Ibagué Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Uso del clinómetro.

El clinómetro es un instrumento con el que podemos medir alturas, pendientes y ángulos. Están graduados con varias escalas de tal forma que obtenemos lecturas de pendiente en porcentaje, escalas topográficas, ángulos u otras en función del modelo.

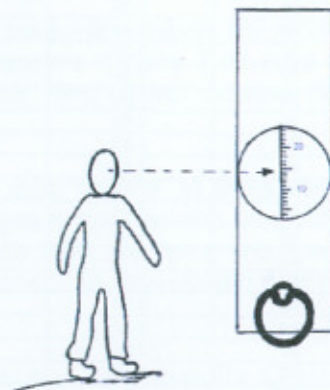
Cuando se usa el clinómetro ambos ojos permanecen abiertos. Con un ojo se observa la escala a través del lente del clinómetro, con el otro ojo se ve a la distancia.

Esto produce una ilusión óptica en la que "vemos" una línea horizontal (línea punteada).

Para medir la pendiente la persona con el clinómetro se coloca en el centro del sitio, otra persona se coloca a la distancia con el fin de ser una referencia para la persona que toma la lectura.

Con ambos ojos abiertos, se mueve el clinómetro hacia arriba o hacia abajo con la finalidad de que la línea que se observa este a un nivel en el que la persona con el clinómetro vería a la otra persona estando parados uno al lado del otro en una superficie plana. Localizado el punto de referencia se toma la lectura donde la línea coincide con la escala.

En este manual se incluye en el Anexo 2 una tabla de distancias corregidas en función a porcentajes de pendiente. Para usar esta tabla, tomaremos la lectura en nuestro clinómetro en la escala en porcentaje. En nuestra parcela de ejemplo de 1000 m², con una lectura de 14% como la que se ve en el dibujo, la distancia de 17.84 m se ajustaría a 18.02 m usando la tabla del anexo 2.

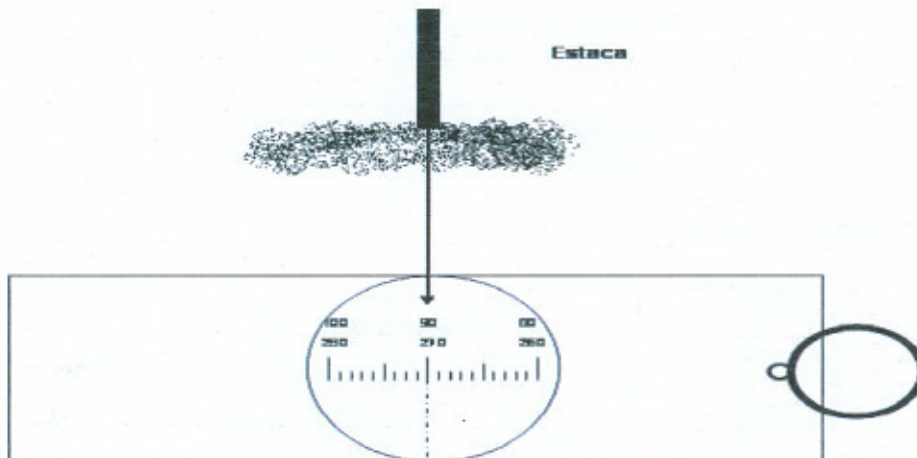


Anexo 2. Tabla de corrección de distancias por pendiente (%). Los datos en las columnas están en metros de distancia sobre el terreno. Estos valores corresponden al radio (distancia del centro hacia los extremos) de parcelas circulares con diferentes áreas.

Pendiente (%)	Círculo 4 m ²	Círculo 8 m ²	Círculo 100 m ²	Círculo 500 m ²	Círculo 1000 m ²
0	1.13	1.60	5.64	12.62	17.84
2	1.13	1.60	5.64	12.62	17.84
4	1.13	1.60	5.65	12.63	17.86
6	1.13	1.60	5.65	12.64	17.87
8	1.13	1.60	5.66	12.66	17.90
10	1.13	1.60	5.67	12.68	17.93
12	1.14	1.61	5.68	12.71	17.97
14	1.14	1.61	5.70	12.74	18.02
16	1.14	1.62	5.71	12.78	18.07
18	1.15	1.62	5.73	12.82	18.13
20	1.15	1.63	5.75	12.87	18.19
22	1.16	1.63	5.78	12.92	18.27
24	1.16	1.64	5.80	12.97	18.35
26	1.17	1.65	5.83	13.04	18.43
28	1.17	1.66	5.86	13.10	18.53
30	1.18	1.67	5.89	13.17	18.63
32	1.18	1.68	5.92	13.25	18.73
34	1.19	1.69	5.96	13.32	18.84
36	1.20	1.70	6.00	13.41	18.96
38	1.21	1.71	6.04	13.50	19.09
40	1.22	1.72	6.08	13.59	19.22
42	1.22	1.73	6.12	13.68	19.35
44	1.23	1.74	6.16	13.78	19.49
46	1.24	1.76	6.21	13.89	19.64
48	1.25	1.77	6.26	13.99	19.79
50	1.26	1.78	6.31	14.10	19.95
52	1.27	1.80	6.36	14.22	20.11
54	1.28	1.81	6.41	14.34	20.28
56	1.29	1.83	6.47	14.46	20.45
58	1.30	1.84	6.52	14.58	20.62
60	1.32	1.86	6.58	14.71	20.81
62	1.33	1.88	6.64	14.84	20.99
64	1.34	1.89	6.70	14.98	21.18
66	1.35	1.91	6.76	15.12	21.38
68	1.36	1.93	6.82	15.26	21.58
70	1.38	1.95	6.89	15.40	21.78
72	1.39	1.97	6.95	15.55	21.98
74	1.40	1.99	7.02	15.69	22.19
76	1.42	2.00	7.09	15.85	22.41
78	1.43	2.02	7.16	16.00	22.63
80	1.45	2.04	7.23	16.16	22.85
82	1.46	2.06	7.30	16.31	23.07
84	1.47	2.08	7.37	16.48	23.30
86	1.49	2.10	7.44	16.64	23.53
88	1.50	2.13	7.52	16.80	23.77
90	1.52	2.15	7.59	16.97	24.00
92	1.53	2.17	7.67	17.14	24.24
94	1.55	2.19	7.74	17.31	24.49
96	1.56	2.21	7.82	17.49	24.73
98	1.58	2.23	7.90	17.66	24.98
100	1.60	2.26	7.98	17.84	25.23
102	1.61	2.28	8.06	18.02	25.48
104	1.63	2.30	8.14	18.20	25.74
106	1.64	2.33	8.22	18.38	26.00
108	1.66	2.35	8.30	18.57	26.26
110	1.68	2.37	8.39	18.75	26.52
112	1.69	2.40	8.47	18.94	26.79

Anexo 3. Uso de la brújula.

La brújula es un instrumento de medición que indica el rumbo o dirección y se usa para orientarse. Consiste en un círculo dividido en 360 grados donde el 0 corresponde al norte.



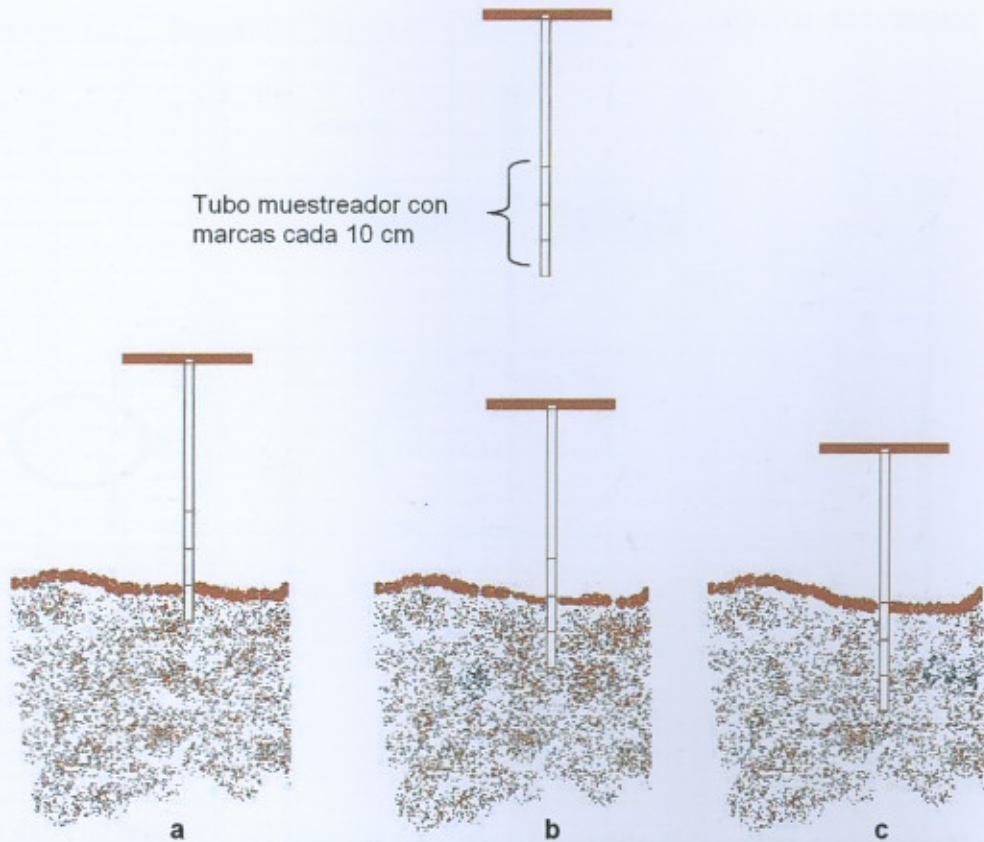
Uso de la brújula.

Mantenemos ambos ojos abiertos. Usamos un ojo para ver a través del lente de la brújula y el otro para ver (ubicar un punto) por encima de ella. Esto crea una ilusión óptica en la que "vemos" una línea vertical (flecha) por encima de la brújula.

Cuando ajustamos nuestra brújula de tal manera que "vemos" la línea vertical antes mencionada, dirigimos ésta hacia nuestro objetivo haciéndolos coincidir, el objetivo será la estaca y el lazo tendido en nuestro sitio. Se toma entonces la lectura en el punto en que la línea vertical y la escala se encuentran como se muestra en el dibujo (punta de flecha).

La lectura obtenida es la dirección (en grados) a la que se encuentra la estaca con respecto a al centro de nuestro sitio. Al contar con esta lectura podemos determinar ángulos para extender nuestros demás lazos.

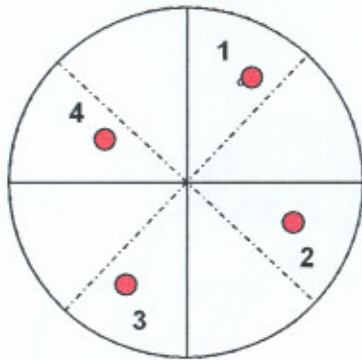
Anexo 4. Muestreo por incrementos de profundidad.



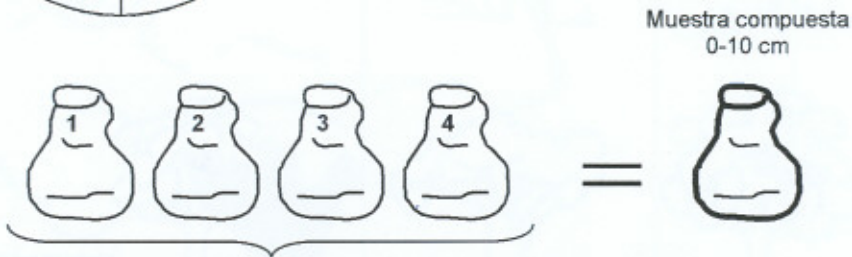
- Para obtener la muestra de 0-10 cm se introduce el tubo muestreador hasta la primera marca. La muestra obtenida se coloca en una bolsa de papel o polipapel numerada e identificada según un orden previamente establecido. El tubo se limpia lo mejor posible para no contaminar la siguiente muestra.
- Para obtener la muestra de 10-20 cm. En el mismo punto se introduce el tubo hasta la segunda marca. Se coloca en la bolsa correspondiente y se limpia el tubo.
- Para obtener la muestra de 20-30 cm. En el mismo punto se introduce el tubo hasta la tercera marca y se repite el procedimiento anterior.

Estos pasos se repiten en cada uno de los puntos donde se muestrea suelo (en nuestro ejemplo en cuatro puntos).

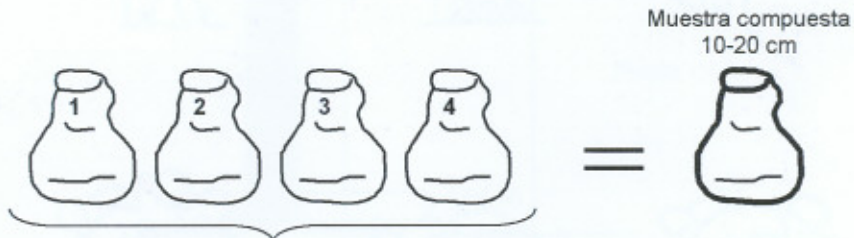
Anexo 5. La muestra compuesta.



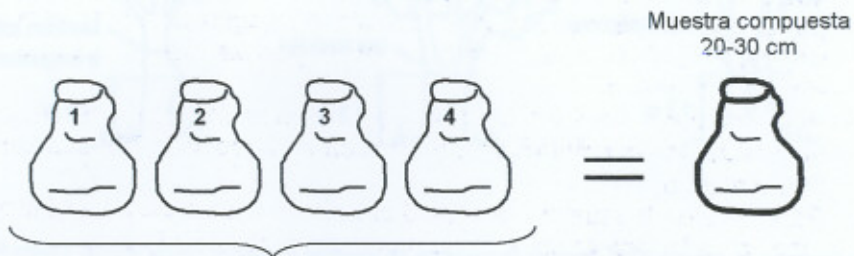
1-4) puntos de muestreo de suelo en nuestro sitio de ejemplo



Muestras de 0-10 cm de los diferentes puntos de muestreo de suelo



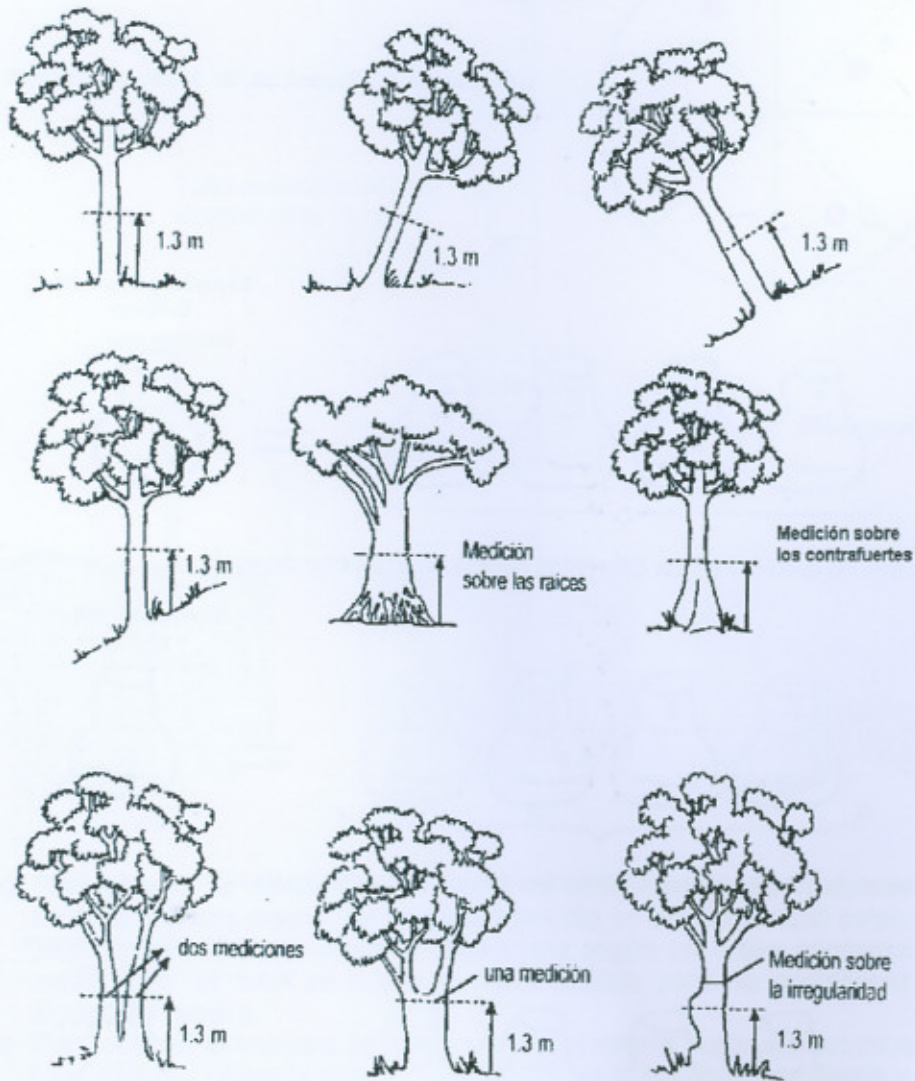
Muestras de 10-20 cm de los diferentes puntos de muestreo de suelo



Muestras de 20-30 cm de los diferentes puntos de muestreo de suelo

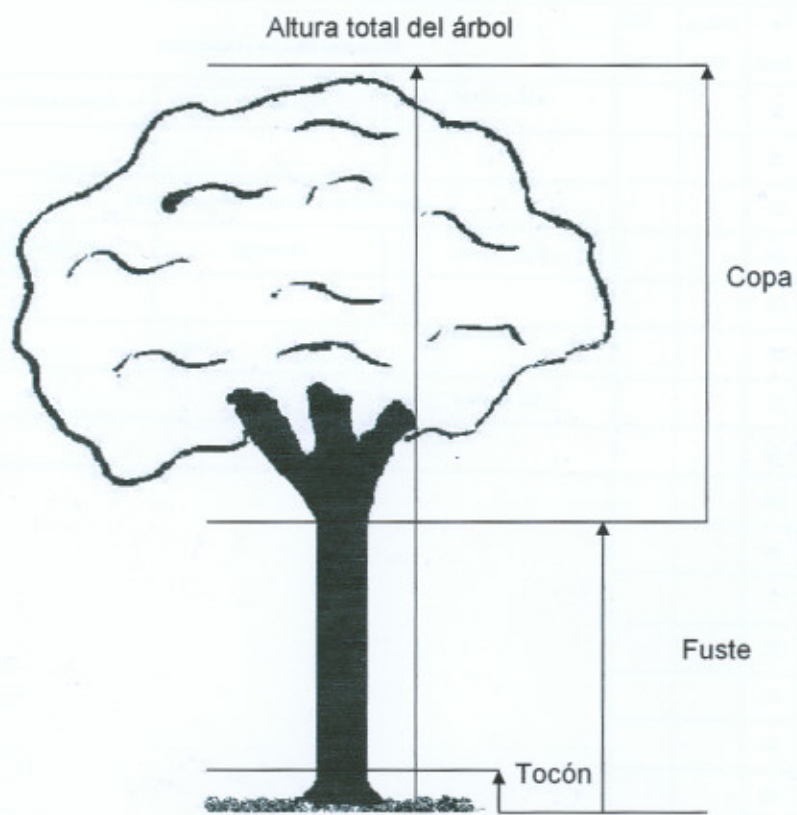
Las muestras obtenidas en los diferentes puntos a una misma profundidad se mezclan para obtener una muestra compuesta.

Anexo 6. Localización del diámetro de referencia en árboles con diferentes formas de fuste.



Fuente: Camacho, M. (comp.). 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica. Pp. 12

Anexo 7. Localización de alturas del árbol.



Anexo 8. Formulario para colecta de datos

Parcela: _____

Levantó: _____

Sistema: _____

Fecha: _____

No. árbol	Código Esp.	DAP (1.3m)	No. árbol	Código Esp.	DAP (1.3m)	Muestreo Maleza y Hojarasca		
1			21			área parcela	Peso Maleza (g)	Peso Hojarasca (g)
2			22					
3			23			Submuestras para contenido de humedad		
4			24			No. Muestras	Maleza(g)	Hojarasca (g)
5			25					
6			26			Suelo		
7			27			No. Muestra		
8			28			Notas		
9			29					
10			30					
11			31					
12			32					
13			33					
14			34					
15			35					
16			36					
17			37					
18			38					
19			39					
20			40					
Códigos de especies de árboles						Ecuaciones de biomasa		
1								
2								
3								